智能电能计量系统技术初探

张春晖[1]　张震[2]

（1. 国 网 山 东 省 电 力 公 司 ， 山东 济南 250100; 2. 华能济南黄台发电有限公司，山东 济南 250100）

摘　要：本文重点讨论了在线电能计量系统的智能化问题，探讨了其系统架构设计与智能化技术需求。针对现有系统存在的问题，如智能电表设计低水准、通信能力不足等，提出了应用多方面的智能化技术与先进计量通信技术进行改造升级的必要性。同时，引用了智能控制理论、智能电表网关、高压设备智能方案等，为系统的智能化改造提供了理论和实践的支持

关键词：智能计量　电力系统

中图分类号：TM933.4

The Preliminary Study of Smart Electrical Energy Metering System Technology

ZHANG Chunhui[1]　ZHANG Zhen[2]

(1.State Grid Shandong Elect Power Co Ltd,Jinan , Shandong 250100 , China;2.Huaneng Jinan Huangtai Power Generation Co. , Ltd. , Jinan , shandong 250100 , China)

Abstract: This article focuses on the intelligentization of online electrical energy metering system, exploring its system architecture design and intelligent technology requirements. In response to the existing problems of the system, such as the low level of smart meter design and insufficient communication capabilities, the necessity of applying various intelligent technologies and advanced metering communication technologies for transformation and upgrading is proposed. At the same time, theories such as intelligent control theory, smart meter gateway, and intelligent solution for high-voltage equipment are introduced to provide theoretical and practical support for the intelligent transformation of the system.

Key words: Intelligent Metering　power industry

0　引言

国家电网公司发布《国家电网公司关于全面推进智能计量体系建设的意见》，预示智能计体系的建设，或将成为电表行业未来的发展方向，需要研究与培育智能计量产品新的市场。

鉴于智能计量体系是电力工程领域的创新、海量课题，包括在线电能计量、远程抄表/采集通信、系统电量总加、自动化检定、现场校验、计量溯源、计量器具配送、库存管理，还可以扩展到电网无功补偿计量与控制、电网线损计量与节能。可以说，涉及电力计量全域、纵向、实时管控，智能控制理论多门类，需要解决的技术难题多难度更大。

经慎重思考，本文重点讨论在线电能计量系统的智能化问题，初探其系统架构设计与智能化技术需求。

1、电能计量系统进行智能化应用开发的缘由

电网的电能计量装置是为电力贸易结算与考核电网经济技术指标提供计量保证，属于国家法制计量范畴。

电能计量系统是电力用户用电信息采集系统与电网关口、供电计量系统的联网合一名称，分别由电网营销与调度部门管理。

电能计量系统的构成。预计，2016 年各省级电网将实现用电信息采集系统基本全覆盖，国网总采集覆盖率达到 95.5%，安装智能电表 37758 万只。其中的高压三相计量装置：专变用户约 300 万套，公变台区约 180 万套，电网关口 5.2 万套，供电量计量（待统计），低压三相计量装置估计 3100 万套。目前该系统的基本功能：按周期对用户或发电企业进行远程抄表收费或结算，远程预付费，为用户负荷管理，用户业扩报装提供计量数据，支持电网多专业采集需求，包括电网电能质量考核，故障报警定位，电网线损统计等。

这里，本文为何要提出电能计量系统智能化应用开发？

近期，国网省级电网计量中心的“四线一库”全域、纵向、实时管控关键技术研究及应用项目通过了技术鉴定，标志国网实验室智能技术应用取得新成果。但是，现有在线计量系统的智能化研究还是短板，只开展计量装置智能故障诊断技术研究等有限项目，与智能电网/能源互联网的发展很不适应，主要问题：

1）智能电表智能化设计低水准，无法满足双向互动，分布式电源接入、需求响应等智能用电需求。

·单相智能电表计量功能设计有缺失，准确度低，不适应电网多专业采集需求。

2）用电信息采集系统还是单方向、低速率通信，自动抄表成功率达不到 100%的实用要求。

3）支持电网多专业采集方面，智能电表计量功能不全，未采用优化采集功能设计。

4）电能计量装置采用组合式设计，未实行综合误差考核，传统互感器过载/过压易饱和。

5）特别是通信网络未按双向、高速通信设计，难以实施电网与用户互动的智能化功能。

6）现有电能计量系统的系统功能未进行更多的开发，限制系统功能的拓展能力。

以上这些问题，借鉴国际、国内智能电网与智能计量的经验，需要应用多方面的智能化技术与先进计量通信技术，进行在线电能计量系统的改造升级。

2、智能控制专项技术研究与引用

电能计量系统智能化的改造升级，首先要研究现有智能电网/智能计量的智能控制理论与智能化控制过程，作为参考或引用。

1）智能控制的概念

北京邮电大学：《智能信息技术》：

智能控制是一类无需人的干预就能独立驱动智能机器实现其目标的自动控制。

智能控制的关键在高层，高层控制的任务在于对实际环境或过程进行组织，即决策和规划。

2）智能控制理论：优化控制

2005年，清华大学提出“优化控制：电力混成控制论与先进调度自动化建设”。

电力混成控制论可以用集合论语言进行描述：

从电网实测到的运行数据到事件集合，再转化为控制命令，操作指令，经由一些逻辑函数、复合逻辑函数计算完成，整个电力系统的状态，可以通过时间离散的操作指令加以改变，操作指令作用的结果使事件集合成为空集，表示此时的电力系统运行在满意状态，实现系统多指标自趋优运行的目标。

3）智能电表测量系统的智能化核心：智能电表网关

·2013年，德国信息安全局（BSI）受德国经济能源部委托，制定了全新的智能电表测量系统技术规范，提出以智能电表网关为中心，基于先进双向通信网络，连接测量仪器网络，广域电力市场和需求侧并实现其互动的智能测量系统，简称IMsys。

4）高压设备智能化方案：智能化控制过程设计

中国电科院：《高压设备智能化方案及技术特征》、《智能电力变压器信息流方案的设计》

·高压设备智能化控制过程：由传感器输出信号，经 IED（智能电子装置）前置处理、数据处理后输出原始数据、格式化信息。由智能组件对原始数据或格式化信息做进一步专业分析，生成智能化信息，完成相应的测量、控制、监测等基本功能。也可将计量、保护、录波、电能质量监测作为扩展功能.再是控制模块也是智能组件基本功能的一部分，控制指令源于电网调度系统或基于设备本身的测量和监测信息形成的控制策略。最后通过站控层网络，由电网调度系统或智能组件发出控制指令，实现电网或高压设备的优化运行。

5）新一代智能变电站主要特征：集成设备，一体化业务系统

新一代智能变电站示范工程，以集成化智能设备和一体化业务系统为主要特征，将实现分专业设计向整体集成设计的转变，一次设备智能化向智能一次设备的转变，是先进适用技术的集成应用，其中：

·一次设备集成化，如采用集电子式高压互感器、隔离开关和断路器为一体的集成式智能断路器。

·二次设备集成化，如辽宁 220kV 何家智能变电站是世界上第一个采用许继集中式保护的智能变电站，意指传统的一次保护系统，测控、计量、保护一项功能需要一套装置。现在，设备集成化、功能软件化，解除功能和装置的绑定。

6）智能用电关键技术：需求响应与用能管理

中国电科院：《灵活互动智能用电的技术架构探讨》

·需求响应：

需求响应（DR）是指通过一定的价格信号或激励机制，鼓励电力用户主动改变自身消费行为、优化用电方式，减少或者推移某时段的用电负荷，以优化供需关系，同时用户获取一定补偿的运行机制。

需求响应的实现，需要先进的量测、营销、信息通信、控制等方面的技术支持，需要电价政策、激励机制、能源政策等宏观政策，可以说需求响应是个复杂的系统级问题。

·用能管理

电力用户用能管理主要借助于（高级量测终端）、智能插座、各类传感器等智能设备以及互联互通网络，实现对用户内部用能、环境、设备运行状态以及新能源等信息的实时采集、传递和分析管理，为能效测评和需求侧管理提供辅助手段。

3、智能电能计量系统架构设计

本部分的内容是根据智能电网/能源互联网发展的要求，应用智能控制技术与先进计量通信技术，对电能计量系统进行改造升级。

1）智能电能计量系统的描述

智能电能计量系统是以计量业务一体化设计、双向高速通信网络为基础，以先进计量通信技术、信息共享、智能决策响应、互动及网关为主要手段，具有计量系统性能优化、用户侧能源高效利用运营能力的系统。

2）智能电能计量系统主要功能，包括原有系统功能与新的拓展系统功能。

一是，原有系统基本功能明显提升。

·远程抄表，按周期对用户或发电企业进行远程抄表收费/结算，自动抄表成功率 100%。

·远程预付费，采集周期为 0.5h，用户交纳欠费后，保证 0.5h 内，将“合闸”指令送达电表，操作负荷开关后用电。

·电、水、气、热四表合一采集应用继续扩大。

二是，电能计量系统计量性能优化。

·综合误差校准，电能计量装置包括智能电表，电压、电流互感器及电压互感器二次回路。在高压侧按综合误差进行校准优化，综合误差达到±0.2%，估计比原有综合误差计算结果下降±0.5%。

•线性计量，采用电子式电压/电流互感器计量，极大改变传统互感器过流/过压非线性状态，提高电能计量、电能质量测量准确性。

• 高压/低压电子式互感器与智能电表一体化设计，减少综合误差，防止窃电行为。

• 丢失数据可以自补算功能。智能电表因干扰引起电量数据丢失或三相计量装置发生故障，由智能电表本身或系统主站进行丢失电量数据自补算。

• 三相用户、配电网的谐波电能能耗测评。

• 智能故障诊断，系统主站对在线计量装置进行远程智能故障诊断，报警。

三是，用户用电负荷管理与控制，采用智能终端，实现实时决策或延时正确的控制功能。

四是，电网多专业采集应用优化与拓展，主要包括电网电能质量监测与报警，根据需要增加智能控制功能。三相有功/无功功率平衡度监测与报警，根据需要增加智能控制功能。线损计算与报警。配电网智能故障诊断与定位等。

五是，电能计量系统大数据应用深化、开展新的数据挖掘

六是，电网与用户双向互动功能不断提升，实现电网与社会节能减排目标：

• 继续开展电网与用户的用电信息、营业互动服务

•随着电价新政或激励机制推出，逐步开展用户需求响应，包括用电需求侧管理与分布式电源并网与控制。

•扩大用户用能管理与互动服务，用户内部大型电力设备、空调系统可以实时参与电网调峰、无功功率平衡。

• 适应用户对数据、语言、视频等上网业务的需求

3）智能技术应用开发项目

一是，双向、高速通信网络的建设

2016 年国网计量重点工作要求：研究新一代用电信息采集系统架构。本文作者建议：

• 统一规范：在采集周期与系统总采集时间内，要求自动抄表成功率 100%。

• 采集周期为 24h，用于按月抄表收费，按月计算电网线损；

• 采集周期为 3h，有些省级电网按日计算电网线损；

• 采集周期为 0.5h，用于用户远程预付费。

• 采集周期为 15min，用于低压电网故障预警、报警、自愈。用户需求响应。电网电能质量在线监测、报警。

• 省级电网全域用户的总采集时间：1000 万户/h。

• 宽带电力线载波通信应用技术研究，解决本地通信技术瓶颈。

• 宽带载波集中器设计方案，从 15min 内自动抄表成功率 100%，大幅度提升自动抄表数量两个方面来考量。

•影响宽带电力线载波通信扩大应用的因素研究，对地埋电缆、公变台区电容器无功补偿装置的影响，提出量化影响数据。对宽带载波通信干扰的测量与抑制方法研究。宽带载波通信本身发出的干扰测试与抑制措施开发。在此基础上，组织制定宽带电力线载波通信信道技术规范。

• 现有窄带载波通信模块要逐步淘汰，以宽带载波通信模块来更新。

• 采用双模通信方式，作为宽带载波通信方式的补充。

• 4G 远程无线公网通信应用技术与测试研究，解决用户侧远程通信技术瓶颈。

• 系统主站：在电网内部用电信息采集系统主站已经与电网调度系统、电力营销系统联网，实现电网“量、价、费、损”指标的统一计算与考核，还可以开展电网与用户互动有关功能。系统主站的系统功能，除用电信息采集系统原有主站功能，尚需增加智能电能计量系统功能，详见下面叙述。

•从智能电表经采集器、集中器到系统主站，研究采用双向通信数据传输协议、高级密码认证协议。

•专变用户、公变台区的智能终端，采用双向高速远程通信模块，扩大内存容量，高级应用程序，实现自主决策响应，软件远程升级，提供多种格式的交换数据信息，适应更多功能的扩展需求。

•研究提出基于互联网、电信网、广播电视网的用电信息采集技术方案，实现数据、语音、视频等业务的融合，可以节省投资和运行费用，为用户提供更便利和现代化的生活方式。

二是，智能电能计量系统计量性能优化设计

•智能电表

•计量功能新增项目，三相智能电表具有三相四象限非正弦波全功率（有功功率、无功功率、畸变功率、视在功率）计算功能，单相智能电表具有正弦波全功率（有功功率、无功功率、视在功率）计算功能，用于实现丢失数据自补算。

具有系统主站进行计量装置故障引起丢失数据自补算需用的输出信息。

•扩大计算与内存容量，可扩展显示项目。

•具有双向高速通信模块，大容量内存，高级应用程序，实现自主决策响应，软件远程升级，提供多种格式的交换数据信息，适应更多功能的扩展要求。

注：如接入来自不同设备/计量表计的多种互动功能，需采用或另接入多种通信方式的网关设计或产品。

•准确度等级，电网关口的主表计量采用 0.1S 级三相智能电表，单相智能电表准确度等级提升为 0.2，0.5，1，2 级，分别用于月用电量不同的居民用户。

•电子式电压/电流互感器，电子式电压互感器的准确度等级为 0.1，0.2，0.5 级。电子式电流互感器的准确度等级为 0.1S，0.2 S，0.5 S 级。

电子式互感器的容量，需与智能电表、智能终端、电能质量监测终端的电源容量需求相匹配。

•电子式互感器与智能电表一体化设计，前面已经叙述，其综合误差控制在±0.2%以内，具有为智能终端、电能质量监测终端输出信息的接口。

高压电能计量溯源，中国计量院已经建立 10kV、1000A、0.02 级三相高压电能计量标准装置、并经考核发证。

三是，系统主站，除用电信息采集系统原有主站功能，尚需增加智能电能计量系统的系统功能：

•专变用户、公变台区的高压三相计量装置由故障引起的计量数据丢失，由系统主站的三相四象限非正弦波全功率（有功功率、无功功率、畸变功率、视在功率）计算功能，进行丢失数据自补算。

• 三相用户、配电网的谐波电能能耗测评

• 基波与谐波有功电能计量之差。

• 正弦波与非正弦波功率因数计算之差。

• 谐波能耗在配变、电力线、用户的分布测试。

• 系统大数据应用深化，开展新的数据挖掘：

• 智能电表计量功能不全的计量点，由系统主站进行全功率计算后给出需求的功率。

• 公变台区用电负荷同时系数计算，为配电变压器容量选择提供依据。

• 在线高压三相计量装置智能故障诊断/智能防窃电行为

• 运行电能表、互感器计量性能监测与状态评估

• 电网多专业采集应用与拓展

•电网电能质量在线监测、考核、报警，特别是电网谐波、间谐波负荷有功功率计算、考核、报警与智能控制。

公变台区电能质量监测、考核、报警与智能控制。

• 电网输电节点的三相有功/无功功率平衡度监测、考核、报警，特别是公变台区智能三相有功/无功功率（功率因数）监测、考核、报警与智能检制。

·电网线损计算，基于全功率的电网线损计算、报警。特别是公变台区线损计算、报警与智能控制。

·配电网特别是公变台区智能故障诊断、定位与报警。

·10kV 高压集成监测与控制终端，包括电能计量，电力负荷管理、电能质量监测，三相负荷平衡监测、无功功率及功率因数计量。

·与配电变压器在线智能监测系统联网。

配电变压器与测量互感器一体化设计。

四是，电网与用户互动功能的实施。

·智能电表网关，用于电网与用户互动功能的关键设备，采用多种通信方式的数据传输协议转换。

说明，为简化通信网络，减少重复投资，本文作者不建议采用智能交互终端来实现双向互动功能。

·用户内部智能用电互动功能技术开发

·用户电力设备用电信息采集通信模块

·用户用电信息汇总终端

·用户内部通信网络

·统计电表+节能监测系统+低压最大负荷监测与控制系统

·用户与供电部门双向互动通信网络及衔接方案。

6 结语

国际和国内在智能电网和智能计量方面已经取得了一些经验，这些经验可以为电能计量系统的智能化提供有益的借鉴。例如，智能控制理论在电能计量系统中的应用，以及一些先进的智能化技术和产品的应用等。通过借鉴这些经验，可以加快电能计量系统的智能化进程。

参考文献

[1] 史常凯;张波;盛万兴;孙军平;仉天舒; 灵活互动智能用电的技术架构探讨
《电网技术》- 2013-10-05
[2] 何光宇;孙英云;阮前途;王伟;董树锋;现代电力调度控制中心的革新——由 EMS 走向 AEMS
《中国科学(E 辑:技术科学)》- 2009-04-15

作者简介： 张春晖 男， (1938-)， 从事电能计量技术研究。

通讯作者： 张震 男， (1977-)， 从事电能计量技术研究 721047546@qq.com